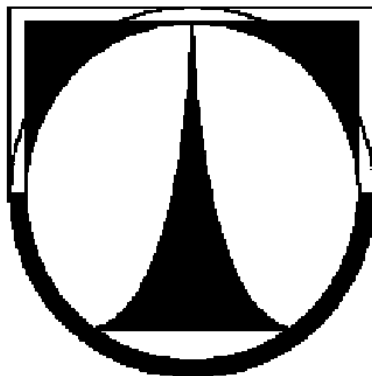


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta textilní
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských
studií**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2004

Eva Pourová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

FAKULTA MECHATRONIKY A MEZIOBOROVÝCH

INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ

Katedra: Elektrotechniky
Obor studia: 31 – 06 – T Textilní technologie
Zaměření: Řízení technologických procesů

ZMĚNA DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ 3D NETKANÉ TEXTILIE VLIVEM DEFORMACE

**Changes of dielectric characteristics the 3D non-woven textiles by
deformation**

Eva Pourová

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.
Konzultant: Ing. Miroslava Maršálková

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 59

Počet obrázků: 29

Počet příloh: 2

V Liberci, dne 17.5.2004

ZMĚNA DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ 3D NETKANÉ TEXTILIE VLIVEM DEFORMACE

Anotace:

V diplomové práci jsou uvedeny teoretické předpoklady a výpočty pro popis změny dielektrických vlastností netkané textilie při deformaci. Je založena na provedení experimentů ve slabém elektrickém poli, které popisují změny dielektrických vlastností stlačované netkané textilie a upřesňuje změnu dielektrických vlastností vlivem uspořádání vláken ve struktuře textilie.

CHANGES OF DIELECTRIC CHARACTERISTICS THE 3D NON- WOVEN TEXTILES BY DEFORMATION

Annotation:

The thesis introduce basic theoretical presumptions and physics computing for specification of dielectric characteristics in the non-woven textiles by deformation changes. The work is based on experiments in low electric field, which describes changes of dielectric characteristics by the compression of the non-woven textiles and clarifies changes of dielectric characteristics by the influence on the textile fibres configuration in the textile structure.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 17.5.2004

Podpis:

Poděkování:

Chtěla bych touto cestou poděkovat především vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za podnětné rady a zodpovědné vedení mé diplomové práce. Mé poděkování patří i Ing. Miroslavě Maršálkové z Katedry textilních materiálů za ochotu a pomoc při provádění experimentů. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Filipu Sanetrníkovi z Katedry netkaných textilií za jeho spolupráci.

V neposlední řadě chci poděkovat celé své rodině za všestrannou podporu při studiu i při tvorbě této diplomové práce.

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Teoretická část.....	9
2.1 Elektromagnetické pole.....	9
2.2 Elektrické pole.....	10
2.3 Elektrické vlastnosti materiálů.....	10
2.4 Elektrické pole v dielektriku.....	13
2.5 Dielektrické vlastnosti modelu netkané textilie.....	15
2.5.1 Kombinovaný model.....	17
2.5.2 Jednoduchý paralelní model.....	23
2.5.3 Jednoduchý sériový model.....	27
2.5.4 Teoretický výpočet zjednodušeného modelu netkané textilie.....	31
2.5.5 Efektivní permitivita.....	38
2.6 Polarizace dielektrika.....	38
2.7 Elektrická pevnost.....	39
2.8 Vlastnosti textilních materiálů.....	40
3 Experimentální část.....	42
3.1 Popis experimentu.....	42
3.2 Charakteristika měřených textilií.....	44
3.3 Parametry textilií.....	45
3.4 Metody určení parametrů textilií.....	47
3.4.1 Měření sklonu úhlů kolmo kladené textilie.....	48
3.5 Měření dielektrických vlastností netkané textilie.....	50
4 Diskuse výsledků.....	53
5 Závěr.....	54
6 Seznam použitých veličin.....	55
7 Literatura.....	58
8 Seznam příloh.....	59

1 Úvod

Netkané textilie jsou známy již od starověkých kultur, kdy oděvní útvary byly vyráběny z vlhkých vláken spojovaných např. rybími kostmi nebo kdy byly využívány listy a kůra stromů po rozvláknění a zpevnění.

V první polovině minulého století vznikla potřeba rychle a s malými náklady zpracovat podřadné suroviny, což byl prvopočátek průmyslové výroby netkaných textilií. Tento trend se postupem času měnil, protože k dosažení dobrých mechanických vlastností je zapotřebí k výrobě použít kvalitní vlákenné suroviny.

Výroba netkaných textilií je ekonomicky efektivnější než výroba vlákenných struktur pletením nebo tkaním. Tyto výrobky mají široké uplatnění pro bytové a technické účely, pro zdravotní a hygienické materiály nebo výrobky jednorázového použití.

Vlastnosti vláken mají vliv na užité vlastnosti netkaných textilií. Při zpracování textilní suroviny, zejména syntetických vláken začala stoupat důležitost elektrických vlastností vláken, které hrají velkou roli jak při technologickém zpracování, tak na hotových výrobcích. Nástupem syntetických vláken se jejich elektrické vlastnosti stávají prvořadou záležitostí. Numerickým vyjádřením těchto vlastností jsou měřitelné parametry, jako je permitivita, el. odpor, vodivost, kapacita, polarita atd. Pomocí nich lze regulovat zpracovatelnost vlákenné suroviny a posuzovat užitnou hodnotu výrobku.

Cílem této diplomové práce je popsat změnu dielektrických vlastností netkané textilie při jejím stlačení a zjistit, zda má na změnu vlastností vliv způsob kladení vláken při výrobě textilie. Tato problematika zahrnuje i základní teoretické předpoklady a výpočty.

2 Teoretická část

2.1 Elektromagnetické pole

Všechny elektrotechnické jevy, ať mají jakýkoli praktický charakter jsou projevem místních a časových změn elektromagnetického pole. Elektromagnetické pole nás obklopuje i prostupuje ve všech situacích ve velkém počtu forem. Vytváříme jej i sami každým úsekem elektrického vedení, každým výbojem atd. Podstata elektrického pole je materiální. Podobně jako pole gravitační a všechny ostatní druhy fyzikálních polí je elektrické pole jednou ze základních forem hmoty. [1]

Elektromagnetické pole je tvořeno elektrickou a magnetickou složkou a může být *statické* s časově konstantními složkami, nebo *dynamické* kdy jsou složky časově závislé.

V případě statického pole jsou elektrická i magnetická složka nezávislé a lze je realizovat odděleně. Dynamické elektromagnetické pole existuje ve formě elektromagnetické vlny. [2]

Elektromagnetické pole působí na bodový náboj Q pohybující se relativní rychlostí v k jisté pozorované soustavě silou, která se nazývá *Lorentzova síla*:

$$\mathbf{F} = Q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad [\text{N}] \quad (2.1)$$

Qelektrický náboj [C]

Eintenzita el. pole [V/m]

vrelativní rychlost [m/s]

Bmagnetická indukce [T]

Intenzita el. pole a magnetická indukce rozhodují o silových účincích na náboje. Intenzita elektrického pole E má stejný směr jako síla F působící v daném místě pole na kladný bodový náboj Q . [1]

2.2 Elektrické pole

Elektrické pole existuje v okolí elektricky nabitých těles nebo elektricky nabitých částic. Zdrojem elektrického pole jsou částice nesoucí elektrický náboj. Těleso s elektrickým nábojem působí silou na jiná tělesa zeledrovaná i na tělesa elektricky neutrální.

V elektricky izolované soustavě těles je celkový elektrický náboj stálý. Elektrický náboj nelze tedy vytvořit ani zničit, lze ho jen přemísťovat. Elektrický náboj se může přemísťovat i v jednom tělese.

- **Vodiče** – nazýváme tak látky, ve kterých se náboj přemísťuje snadno.
- **Izolanty** - označujeme tak látky, které neobsahují volné elektrony, tedy látky elektricky nevodivé
- **Dielektrika** - mají vlastnosti izolantů i vodičů. Patří mezi ně i textilní vlákna – polymery. [3]

2.3 Elektrické vlastnosti materiálů

Dielektrika jsou speciální materiály, které za určitých podmínek vykazují vlastnosti vodivých materiálů a za jiných podmínek se chovají jako nevodivé látky.

Každou látku můžeme popsat materiálovými konstantami. **Permitivita** ε (**dielektrická konstanta**) je hlavní konstantou dielektrik., vyjadřuje schopnost dielektrika polarizovat se.[4]

Mezi částicemi, které jsou nositeli elektrického náboje, působí elektromagnetické síly. Mírou vzájemného silového působení elektricky nabitých těles je *elektrická síla* F_e .

Podle Coulombova zákona pro případ dvou bodových nábojů platí:

$$F_e = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} \text{ [N]} \quad (2.2)$$

Q_1 a Q_2 jsou dva bodové elektrické náboje, které se navzájem přitahují nebo odpuzují stejně velkými elektrickými silami opačného směru. Jednotkou elektrického náboje je *coulomb*.

Vzdálenost dvou nábojů je r . Konstanta úměrnosti k závisí na vlastnostech prostředí, v němž náboje na sebe působí

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \quad (2.3)$$

ϵ_0 - *permitivita vakua*

ϵ_r - *relativní permitivita prostředí*

Relativní permitivita vyjadřuje, kolikrát je permitivita nějakého prostředí větší než je permitivita vakua. Pro vakuum a přibližně pro vzduch je $\epsilon_r = 1$, pro všechna ostatní prostředí je $\epsilon_r > 1$.

K popisu elektrického pole zavádíme dvě veličiny *intenzitu elektrického pole* E a *elektrický potenciál* φ .

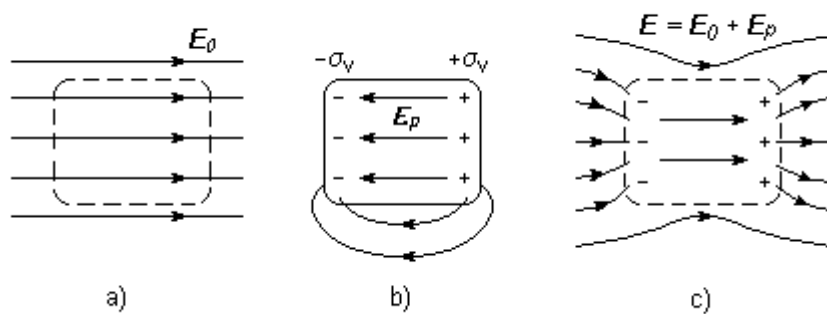
Intenzitu elektrického pole určujeme na základě silového působení elektrického pole. Definujeme ji jako podíl síly F_e , která působí na bodový náboj Q a velikosti tohoto náboje. [3]

$$\mathbf{E} = \frac{F_e}{Q} \text{ [N} \cdot \text{C}^{-1} \text{]} \quad (2.4)$$

Vložením dielektrika do *primárního elektrického pole* E_0 se *primární pole* vždy zeslabí.

Na povrchu dielektrika se vytvoří vázané plošné náboje, jejichž pole E_p je namířeno proti primárnímu poli, jak je vidět na *obr. 2.1*

Čím větší je relativní permitivita, tím víc je prostředí polarizováno, vytváří silnější vlastní pole a tím víc zeslabuje primární pole.



Obr. 2.1 Vliv dielektrika na primární pole

Ve vodivých materiálech se náboj účinkem elektrického pole pohybuje jedním směrem a překonává odpor sousedních částic.

Tento odpor popisujeme *vodivostí* G . Vodivost je převrácenou hodnotou odporu.

$$G = \frac{1}{R} \quad [S] \quad (2.5)$$

Rovnici *konduktivity* (měrné elektrické vodivosti) můžeme vyjádřit pomocí *rezistivity* ρ (měrného odporu): [4]

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (2.6)$$

2.4 Elektrické pole v dielektriku

Jestliže nabijeme izolovaný vodič elektrickým nábojem Q , získá vzhledem k zemi *elektrický potenciál* φ , resp. elektrické napětí

$$U = \varphi - \varphi_0, \quad (2.7)$$

kde potenciál země $\varphi_0 = 0$.

Elektrický potenciál φ definujeme jako podíl práce W , kterou vykonají síly elektrického pole při přemísťování kladného bodového Q náboje do místa nulové intenzity

$$\varphi = \frac{W}{Q} \text{ [V]} \quad (2.8)$$

Mezi nábojem Q a potenciálem φ , resp. napětím U platí vztah přímé úměrnosti

$$Q = C\varphi, \quad \text{resp. } Q = CU \quad (2.9)$$

kde konstantu úměrnosti C nazýváme **kapacita vodiče**, vyjadřuje schopnost vodiče pojmout při dané hodnotě potenciálu φ určitý náboj Q . Jednotkou je **farad** [F].

Je definována vztahem

$$C = \frac{Q}{\varphi}, \quad \text{resp. } C = \frac{Q}{U} \quad (2.10)$$

Kapacita osamocených vodičů je velmi malá. Poměrně větší kapacitu má soustava dvou navzájem izolovaných plochých vodičů zvaná **kondenzátor**.

Nejjednodušším kondenzátorem je **deskový kondenzátor**. Nevodivé prostředí mezi deskami se nazývá **dielektrikum**. [3]

Pro kapacitu deskového kondenzátoru s dielektrikem o relativní permitivitě ε_r platí vztah

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, \quad (2.11)$$

kde S je plocha rovinné elektrody, d je vzdálenost elektrod a ε_0 je permitivita vakua.

Pro permitivitu dielektrika platí vztah

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (2.12)$$

Většina technických kondenzátorů má stálé hodnoty kapacit. Pokud se mají získat jiné hodnoty, kondenzátory navzájem spojujeme.

Při **paralelním zapojení kondenzátorů** vytváříme kondenzátor s větší účinnou plochou desek. Výsledná kapacita těchto kondenzátorů je pak

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.13)$$

Při sériovém zapojení kondenzátorů platí pro celkové napětí

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (2.14)$$

a pro výslednou kapacitu platí

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.15)$$

Paralelním zapojením kondenzátorů získáváme větší hodnoty kapacit, než je kapacita jednotlivých kondenzátorů, sériovým naopak hodnoty menší.[3]

Energie elektrického pole kondenzátoru W_c závisí na napětí U a kapacitě deskového kondenzátoru C .

$$W_c = \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot Q = \frac{1}{2}UQ = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \quad (2.16)$$

W_cenergie nabitého kondenzátoru [J]

φ_1, φ_2potenciál v bodě 1 a 2 [V]

Qelektrický náboj [C]

Unapětí [V]

Ckapacita kondenzátoru [F]. [5]

Pro **hustotu energie elektrického pole** platí vztah:

$$w = \frac{1}{2}\varepsilon_r\varepsilon_0 \cdot \mathbf{E}^2 \quad (2.17)$$

whustota elektrické energie [J/m³]

Eintenzita elektrického pole [N/C]

2.5 Dielektrické vlastnosti modelu netkané textilie

Textilní materiály jsou tvořeny především vláknennou vrstvou, různými pojivy, příměsemi a vzduchem. Ostatní příměsi, jako pojivo, nečistoty a jiné drobné částčky budeme zanedbávat.

V našem případě dielektrikum uvažujeme jako vlastní vláknennou vrstvu a vzduch. Jak je znázorněno na *obr. 2.2* a *obr. 2.3*.



Obr 2.2 Netkaná textilie s kolmo kladenými vlákny



Obr 2.3. Netkaná textilie s podélně kladenými vlákny

Vzájemné rozložení vrstev vláken a vzduchu lze popsat několika způsoby. Mezi nejjednodušší patří dělení podle orientace vláken v textilií.

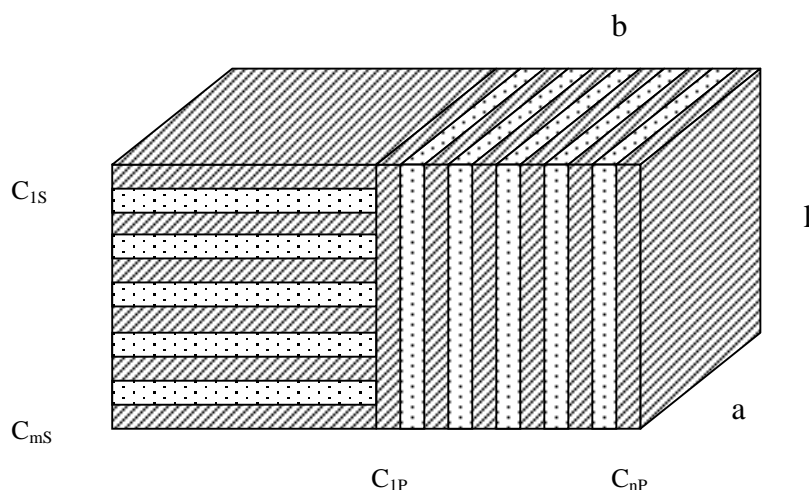
Textilní materiály, jejichž vlákna jsou kladena *vertikálně*, můžeme zařadit mezi dielektrika paralelně dělená viz. *obr.2.2*. Tedy vzduch a vlákenná vrstva jsou uspořádány *paralelně*.

Textilní materiály, jejichž vlákna jsou orientována převážně *horizontálně*, řadíme mezi dielektrika *seriově dělená* viz *obr.2.3*.

2.5.1 Kombinovaný model

Z uvedeného vyplývá, že jeden z možných modelů by mohl být např. kombinovaný model paralelního zapojení dvou materiálů, které jsou vůči sobě v paralelní a sériové kombinaci, jak je znázorněno na *obr. 2.4*

- paralelní kombinace znázorňuje příčně uspořádaná vlákna
- sériová kombinace nahrazuje podélně uspořádaná vlákna

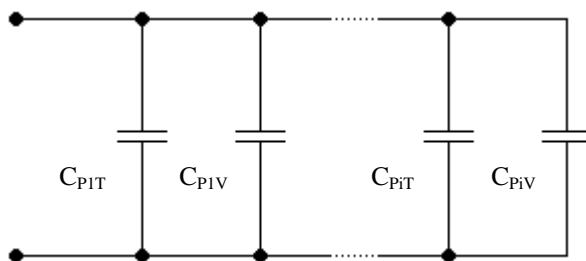


Obr. 2.4 Paralelní kombinace seriového a paralelního zapojení

Celkový objem pak spočítáme jako součet objemů jednotlivých vrstev vláken a vzduchu

$$V = a \cdot b \cdot c = V_o + V_T \quad (2.18)$$

Zde pro paralelní zapojení kondenzátorů platí

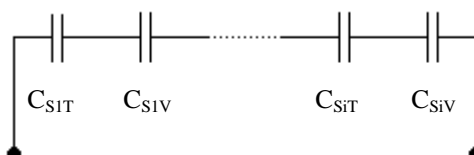


Obr. 2.5 Schéma paralelního zapojení

Výsledná kapacita paralelního zapojení je rovna součtu jednotlivých kapacit kondenzátorů se vzduchovými a vlákennými vrstvami

$$C_P = \sum_1^n C_{PiT} + \sum_1^n C_{PiV} \quad (2.19)$$

Pro sériové zapojení kondenzátorů



Obr. 2.6 Schéma sériového zapojení

Výsledná kapacita sériového zapojení je rovna součtu jednotlivých kapacit kondenzátorů se vzduchovými a vlákennými vrstvami

$$\frac{1}{C_S} = \sum_1^m \frac{1}{C_{SiV}} + \sum_1^m \frac{1}{C_{SiT}} \quad (2.20)$$

Celková kapacita je pak tedy součtem jednotlivých kapacit kondenzátorů sériového a paralelního zapojení

$$C = C_S + C_P \quad (2.21)$$

Pro zjednodušení modelu s mnoha kondenzátory provedeme následující úpravu.

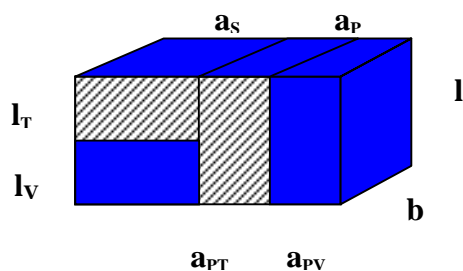
Na níže uvedeném obrázku 2.7 je uveden kombinovaný paralelní model dvou textilních materiálů, které jsou vůči sobě v paralelním a sériovém zapojení.

Modrou barvou je zde znázorněn vzduch a vlastní textilní materiál je vyznačen čárkovaně.

Vzduch je označen indexem l_V a textilní materiál indexem l_T . Toto zapojení nahrazuje reálnou textilií, která má příčně i podélně uspořádána vlákna.

Dojde-li ke změně objemu prostoru uvnitř desek kondenzátoru působením vnější síly, změní se i objem dielektrika, tedy textilie.

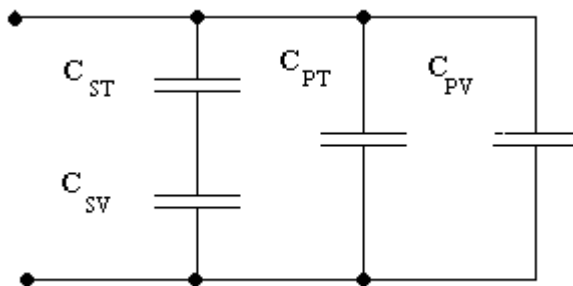
Vycházíme-li z předpokladu, že vlákna textilie jsou nestlačitelná, objem textilie se nezmění a změní se pouze objem vzduchové vrstvy. Z prostoru mezi deskami kondenzátoru bude postupně vytlačěn vzduch se změnou působící síly. Objem vlákenné vrstvy je tedy neměnný.



Obr. 2.7 Kombinovaný paralelní model

Na obr.2.7 jsou ve vzájemném paralelním zapojení sériová a paralelní kombinace vláknenné vrstvy a vzduchu. Tato kombinace nahrazuje reálnou netkanou textilií, která má příčně i podélně uspořádaná vlákna.

Pro tuto představu platí následující náhradní schéma (obr. 2.8), kde jsou jednotlivé materiály popsány kapacitou.



Obr. 2.8 Schéma kombinovaného zapojení

Pro celkovou kapacitu v kombinovaném zapojení pak platí:

$$C = \frac{C_{ST} \cdot C_{SV}}{C_{ST} + C_{SV}} + C_{PT} + C_{PV} \quad (2.22)$$

Předpokládejme, že objem vláknenné vrstvy $V_T = \text{konst.}$, stejně jako plocha textilie $S = \text{konst.}$ pro jakékoli stlačení.

Vztahy vyplývající z obrázku (2.7):

Pro celkovou tloušťku textilie

$$l = l_V + l_T \quad (2.23)$$

Celkový objem

přičemž $V_T = \text{konst.}$

$$V = S \cdot l = V_T + V_V \quad (2.24)$$

$$V = b \cdot (a_s \cdot l + a_p \cdot l) \quad (2.25)$$

$$V = (a_{PT} \cdot l + a_s \cdot l_T + a_{PV} \cdot l + l_V \cdot a_s) \cdot b \quad (2.26)$$

Objem textilních vláken

$$V_T = b \cdot (a_{PT} \cdot l + a_s \cdot l_T) \quad (2.27)$$

Objem vzduchu

$$V_o = b \cdot (a_{PV} \cdot l + a_s \cdot l_V) \quad (2.28)$$

Celková šířka textilie

$$a = a_s + a_{PV} + a_{PT} \quad (2.29)$$

Permitivita dielektrika je

$$\varepsilon_T = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \quad (2.30)$$

Pro kapacitu textilie tedy vyplývá, že

$$C = \varepsilon_o \cdot \frac{S}{l} \quad (2.31)$$

Pro kapacitu sériového i paralelního zapojení je pak

$$C = C_{PT} + C_{PV} + \frac{C_{ST} \cdot C_{SV}}{C_{ST} + C_{SV}} \quad (2.32)$$

A po dosazení

$$C = \varepsilon_T \frac{a_{PT} \cdot b}{l} + \varepsilon_o \frac{a_{PV} \cdot b}{l} + \frac{\varepsilon_T \cdot \frac{a_S \cdot b}{l_T} \cdot \varepsilon_o \cdot \frac{a_S \cdot b}{l_V}}{\varepsilon_T \frac{a_S \cdot b}{l_T} + \varepsilon_o \frac{a_S \cdot b}{l_V}} \quad (2.33)$$

Pokud uvažujeme objem vlákněné vrstvy konstantní, pak můžeme spočítat její objem jak v sériové, tak v paralelní kombinaci

$$V_T = konst. \quad (2.34)$$

$$V_T = l_T \cdot b \cdot a_S + b \cdot a_{PT} \cdot l = b(l_T a_S + a_{PT} \cdot l) \quad (2.35)$$

Z celkového objemu textilie je pak možné dopočítat objem vzduchové vrstvy, protože víme, že objem textilie je součtem objemů obou vrstev

$$V = V_o + V_T \quad (2.36)$$

Objem vzduchu je potom

$$V_o = V - V_T \quad (2.37)$$

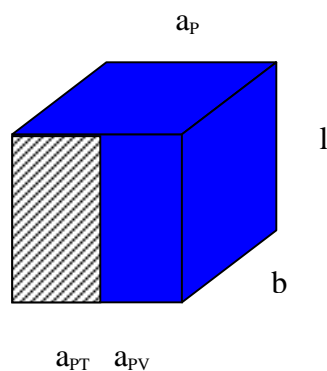
Tento model je poměrně komplikovaný. Velký počet neznámých se nedá omezit, protože celková kapacita modelu je součtem dílčích kapacit pro vzduchové i vlákenné vrstvy obou modelů, z nichž žádnou nemůžeme zanedbat.

Vlákenný objem je neměnný pro jakékoli stlačení, vzduchová vrstva se sice vlivem deformace zmenšuje, ale vzduch z textilie všechen vytlačit nemůžeme.

Proto vysvětlují následující kapitoly celou problematiku na jednodušších modelech.

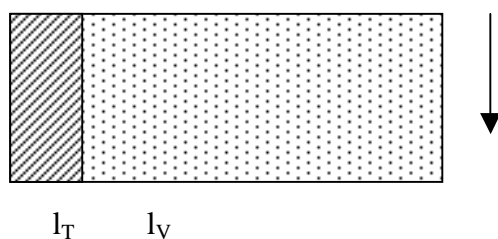
2.5.2 Jednoduchý paralelní model

Pro paralelní model uvažujeme textilií, jejíž vlákna jsou příčně uspořádána. Vlákenná a vzduchová vrstva jsou v paralelním zapojení, jak je zřejmé z *obr. 2.9*



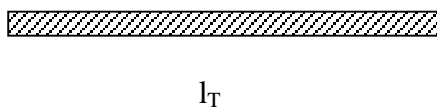
Obr. 2.9 Model paralelního zapojení

Na dalších obrázcích je pro lepší představu nakreslen paralelní model před stlačením, kdy vzduchová vrstva je nejvyšší a po stlačení. Objem vlákenné vrstvy je konstantní pro jakékoli stlačení.



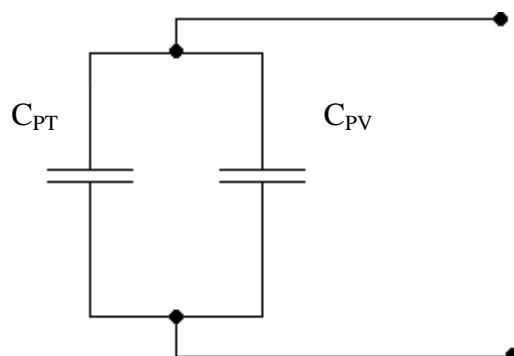
Obr. 2.10 Paralelní model před stlačením

Jak vypadá paralelní model, když je vzduchová vrstva vytlačována, je vidět na obr. 2.11. Objem vlákenné vrstvy zůstává konstantní pro jakékoli stlačení



Obr. 2.11. Paralelní model po vytlačení vzduchu

Z obrázku 2.9 vyplývá náhradní schéma paralelního zapojení kondenzátorů.



Obr. 2.12 Schéma paralelního zapojení kondenzátorů

Předpokládejme, že objem vláknenné vrstvy V_T bude konstantní při jakémkoli stlačení. Zatímco tloušťka textlie l je proměnná, která se v závislosti na stlačení mění.

Pak tedy platí

$$V_T = a_{PT} \cdot l \cdot b = konst. \quad (2.38)$$

$$a_{PT} = \frac{V_T}{l \cdot b} \quad (2.39)$$

Vztahy vyplývající z obrázku (2.9):

Pro celkovou kapacitu, která je součtem kapacit vláknenné vrstvy a vzduchu v paralelním řazení

$$C = \frac{\varepsilon_o (a - a_{PT}) \cdot b}{l} + \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot a_{PT} \cdot b}{l} \quad (2.40)$$

Po úpravě pak

$$C = \frac{b \cdot \varepsilon_o (a - a_{PT} + \varepsilon_{rT} \cdot a_{PT})}{l} \quad (2.41)$$

Pro objem vlákenné vrstvy platí vztah

$$V_T = S \cdot l \quad (2.42)$$

Přičemž proměnnou l uvažujeme jako závislou na stlačení

$$l = \frac{V_T}{S} \quad (2.43)$$

Pak kapacitu vyjádříme jako

$$C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \frac{S^2}{V_T} \quad (2.44)$$

Pokud teoreticky změnou působící síly vytlačíme vzduch z textilie, výška textilní vrstvy pak bude celkovou výškou materiálu, kapacitu paralelního modelu pak můžeme napsat limitou

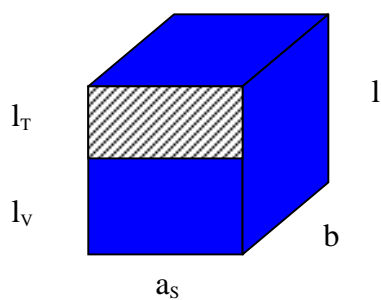
$$\lim_{l \rightarrow l_T} C = \frac{\varepsilon_o (\varepsilon_{rT} S \cdot l_T - S l_T) + \varepsilon_o S \cdot l_T}{l_T^2} = \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} S \cdot l_T}{l_T^2} - \frac{\varepsilon_o S \cdot l_T}{l_T^2} + \frac{\varepsilon_o S \cdot l_T}{l_T^2} = \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S}{l_T} = C_T \quad (2.45)$$

Celková kapacita paralelního modelu se pak tedy bude po vytlačování vzduchu blížit hodnotě kapacity vlákenné vrstvy.

Celkové vytlačení vzduchu však není reálné, vzduch z textilie všechen vytlačit nelze.

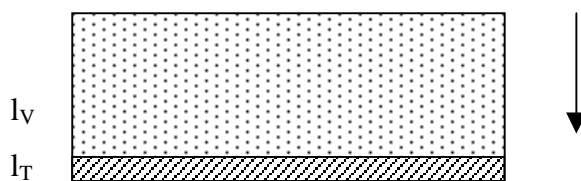
2.5.3 Jednoduchý sériový model

Pro sériový model uvažujeme textilii, jejíž vlákna jsou uspořádána podélně. Textilní a vzduchová vrstva jsou na *obr 2.13* v sériové kombinaci.



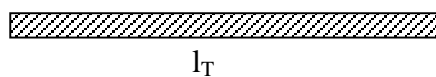
Obr. 2.13 Model sériového zapojení

Před stlačováním sériového modelu je l_v největší, objem vlákenné vrstvy l_T bude konstantní po celou dobu stlačení



Obr. 2.14 Sériový model před stlačením

Po maximálním možném vytlačení vzduchu je objem vláknenné vrstvy stejný jako před stlačením viz. *obr. 2.15*



Obr. 2.15 Sériový model po vytlačení vzduchu

Podle *obr. 2.13* můžeme nakreslit náhradní schéma zjednodušeného modelu pro sériové zapojení



Obr. 2.16 Schéma sériového zapojení

Víme, že objem vláknenné vrstvy V_T v sériovém modelu je opět konstantní, stejně tak jako plocha textlie S a výška vláknenné vrstvy l_T .

Vztahy vyplývající z obrázku (2.13):

Výsledná kapacita nestlačeného stavu u sériového modelu je

$$C_o = \frac{C_v \cdot C_T}{C_v + C_T} \quad (2.46)$$

Kapacita po stlačení bude tedy

$$C = \frac{C_V \cdot C_T}{C_V + C_T} \quad (2.47)$$

Po úpravě

$$\begin{aligned} C &= \frac{\frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V} \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S}{l_T}}{\frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V} + \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S}{l_T}} = \frac{\frac{\varepsilon_o^2 \cdot S^2 \cdot \varepsilon_{rT}}{l_V \cdot l_T}}{\frac{\varepsilon_o \cdot S \cdot l_T + \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S \cdot l_V}{l_V \cdot l_T}} = \\ &= \frac{\varepsilon_o^2 \cdot S^2 \cdot \varepsilon_{rT}}{l_V \cdot l_T} \cdot \frac{l_V \cdot l_T}{\varepsilon_o \cdot S \cdot l_T + \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S \cdot l_V} = \\ &= \frac{\varepsilon_o^2 \cdot S^2 \cdot \varepsilon_{rT}}{\varepsilon_o S (l_T + \varepsilon_{rT} \cdot l_V)} = \frac{\varepsilon_o \cdot S \cdot \varepsilon_{rT}}{(l_T + \varepsilon_{rT} \cdot l_V)} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Pro tloušťku vlákenné vrstvy l_T a vzduchu l_V můžeme odvodit

$$C \cdot (l_T + \varepsilon_{rT} \cdot l_V) = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S \quad (2.49)$$

Tloušťka vlákenné vrstvy

$$l_T = \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S}{C} - \varepsilon_{rT} \cdot l_V \quad (2.50)$$

Tloušťka vzduchového podílu

$$l_V = \left(\frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S}{C} - l_T \right) \cdot \frac{1}{\varepsilon_{rT}} \quad (2.51)$$

Přičemž

$$C \cdot (l_T + \varepsilon_{rT} \cdot (l - l_T)) = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S \quad (2.52)$$

$$C \cdot l_T + C \cdot \varepsilon_{rT} \cdot l - C \cdot \varepsilon_{rT} \cdot l_T = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S \quad (2.53)$$

$$l_T \cdot (C - C \cdot \varepsilon_{rT}) = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{rT} \cdot S - C \cdot \varepsilon_{rT} \cdot l \quad (2.54)$$

Potom je l_T

$$l_T = \frac{\varepsilon_{rT} \cdot (\varepsilon_o \cdot S - C \cdot l)}{C \cdot (1 - \varepsilon_{rT})} \quad (2.55)$$

Stlačováním netkané textilie se snažíme vytěsnit co nejvíce vzduchu. Celková kapacita sériového modelu je součtem dílčích kapacit vzduchových a vláknenných vrstev. Při vytlačení co možná největšího množství vzduchu se tak celková hodnota kapacity bude blížit hodnotě kapacity vláknenné vrstvy

$$\lim_{l_V \rightarrow 0} C = \frac{C_T \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V}}{C_T + \frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V}} \quad (2.56)$$

Po úpravě

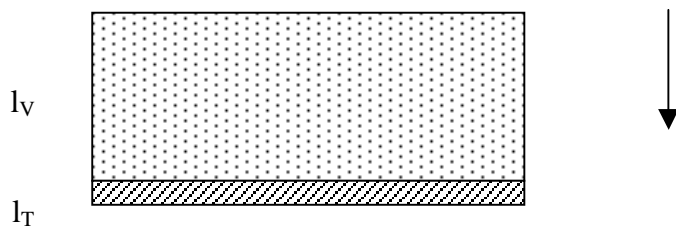
$$\lim_{l_V \rightarrow 0} C = \frac{C_T}{\frac{C_T \cdot l_V}{\varepsilon_o S} + 1} = C_T \quad (2.57)$$

2.5.4 Teoretický výpočet zjednodušeného modelu netkané textilie

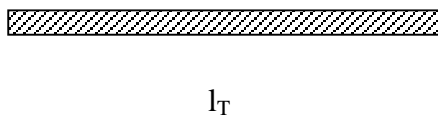
Pro zjednodušení výpočtu použijeme opět sériového a paralelního modelu a po dosazení hodnot pak tyto modely navzájem porovnáme.

Sériový model

U *sériového* modelu uvažujeme výšku vlákenné vrstvy konstantní, zatímco vzduchová vrstva se vlivem stlačení snižuje, jak je sřejmé z obrázku 2.14 a 2.15



Obr. 2.17 Sériový model před stlačením



Obr. 2.18 Sériový model po vytlačení vzduchu

Bude tedy platit, že při konstantní výšce vlákenné vrstvy l_T a neměnné ploše textilie S bude konstantní i její objem V_T .

$$V_T = S \cdot l_T \quad (2.58)$$

Proto je pak konstantní i kapacita samotné textilie

$$C_T = \frac{\varepsilon_T \cdot S}{l_T} = konst. \quad (2.59)$$

Tyto podmínky platí po celou dobu stlačení.

Celková výška netkané textilie l je součtem výšek vlákenné a vzduchové vrstvy

$$l = l_T + l_V \quad (2.60)$$

Známe-li procentuální zastoupení vláken v textilií, pak výšku vlákenné vrstvy určíme jednoduše jako

$$l_T = \frac{l \cdot \%}{100} \quad (2.61)$$

Kapacita vzduchové vrstvy je pak

$$C_V = \frac{\varepsilon_o \cdot S}{(l - l_T)} = \frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V} \quad (2.62)$$

Celkovou kapacitu sériového zapojení pak spočítáme jako součet jednotlivých kapacit vzduchové a vlákenné vrstvy

$$C = \frac{C_T \cdot C_V}{C_T + C_V} = \frac{C_T \cdot \frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V}}{C_T + \frac{\varepsilon_o \cdot S}{l_V}}, \quad (2.63)$$

kde kapacita vlákněné vrstvy C_T je konstantní po celou dobu stlačení.

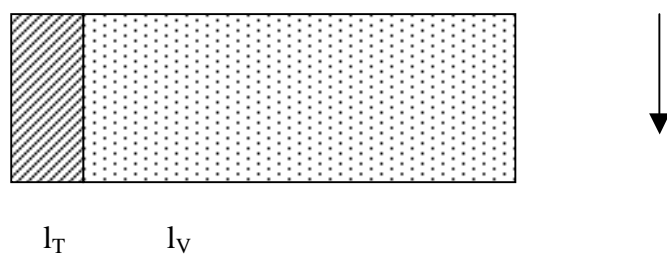
V závislosti na stlačení textilie se mění i její permitivita

$$\varepsilon_{eff} = f(l) \quad (2.64)$$

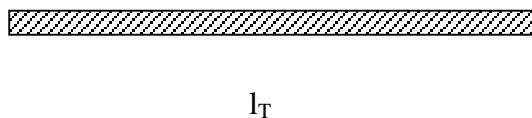
$$\varepsilon_{eff} = \frac{C \cdot l}{S \cdot \varepsilon_o} \quad (2.65)$$

Paralelní model

Při výpočtu paralelního modelu budeme opět uvažovat objem textilie konstantní



Obr. 2.19 Paralelní model před stlačením



Obr. 2.20 Paralelní model po vytlačení vzduchu

Objem vláknenné vrstvy u paralelního modelu bude konstantní pro jakékoli stlačení

$$V_T = konst. \quad (2.66)$$

$$V_T = S_T \cdot l \quad (2.67)$$

Celková kapacita je součtem kapacit vláknenných vrstev a vzduchu

$$C = C_T + C_V \quad (2.68)$$

Kapacitu samotné vláknenné vrstvy spočítáme jako

$$C_T = \frac{\varepsilon_T \cdot S_T}{l} \quad (2.69)$$

$$C_T = \frac{\varepsilon_T \cdot V_T}{l^2} \quad (2.70)$$

A kapacitu vzduchové vrstvy

$$C_V = \frac{\varepsilon_o \cdot (S - S_T)}{l^2} \quad (2.71)$$

$$C_v = \frac{\varepsilon_o \cdot S - \varepsilon_o \cdot \frac{V_T}{l}}{l} \quad (2.72)$$

Celkovou kapacitu paralelního modelu, pak spočítáme takto

$$C = \frac{\varepsilon_T \cdot V_T + \varepsilon_o Sl - \varepsilon_o \cdot V_T}{l^2} \quad (2.73)$$

$$C = \frac{\varepsilon_T \cdot (\varepsilon_{rT} \cdot V_T - V_T) + \varepsilon_o Sl}{l^2} \quad (2.74)$$

$$C = \frac{\varepsilon_T \cdot (\varepsilon_{rT} \cdot V_T - V_T)}{l^2} + \frac{\varepsilon_o S}{l} \quad (2.75)$$

Permitivita paralelního modelu je závislá na míře stlačení textilie

$$\varepsilon_{eff} = f(l) \quad (2.76)$$

Pro výpočet permitivity použijeme vztah.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{C \cdot l}{S \cdot \varepsilon_o} \quad (2.77)$$

Do výše uvedených vzorců pro *teoretický výpočet modelu netkané textilie* byly dosazeny reálné hodnoty pro permitivity, mění se vzálenost desek kondenzátoru a parametry textilie, jako jsou její rozměry a procentuální zastoupení vláken.

Po dosazení do příslušných vzorců pro paralelní a sériové zapojení a vypočítání byly výsledné sériové a paralelní kapacity pro jednotlivá stlačení vyneseny do grafu na *obr. 21*.

Z grafu vyplývá, že před stlačením jsou sériová i paralelní kapacita stejné, v průběhu stlačení má paralelní kapacita vždy o něco vyšší hodnotu než sériová, což je dáno samotným sériovým zapojením. Sériovým zapojením kondenzátorů dostáváme vždy menší hodnoty kapacit, než je kapacita jednotlivých kondenzátorů.

Po teoretickém vytlačení vzduchu se obě hodnoty kapacit sejdou ve stejném bodě, protože zůstává jen samotný textilní materiál, jehož objem je konstantní při jakémkoli stlačení pro sériové i paralelní zapojení.

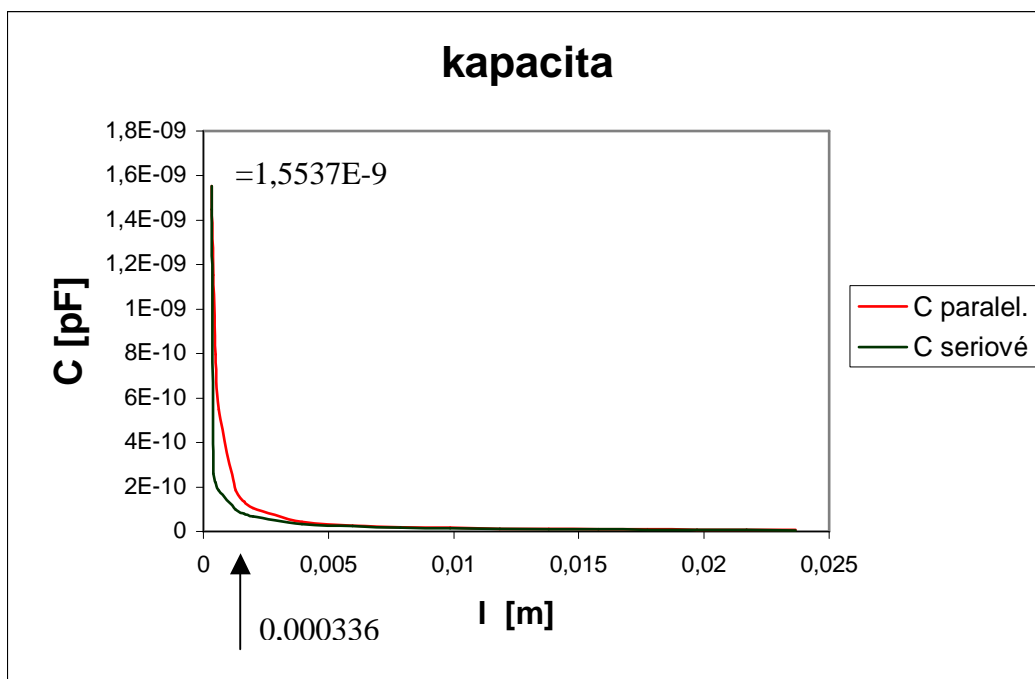
Na *obr. 21* a *obr.22* je šipkou vyznačen objem textilního materiálu po teoretickém vytlačení vzduchu. Za rovnítky v grafu jsou shodné přesné y-nové hodnoty obou materiálů po vytlačení vzduchu.

V praxi ovšem všechen vzduch z textilního materiálu vytlačit nemůžeme, proto jsou tyto úvahy a výpočty pouze teoretické.

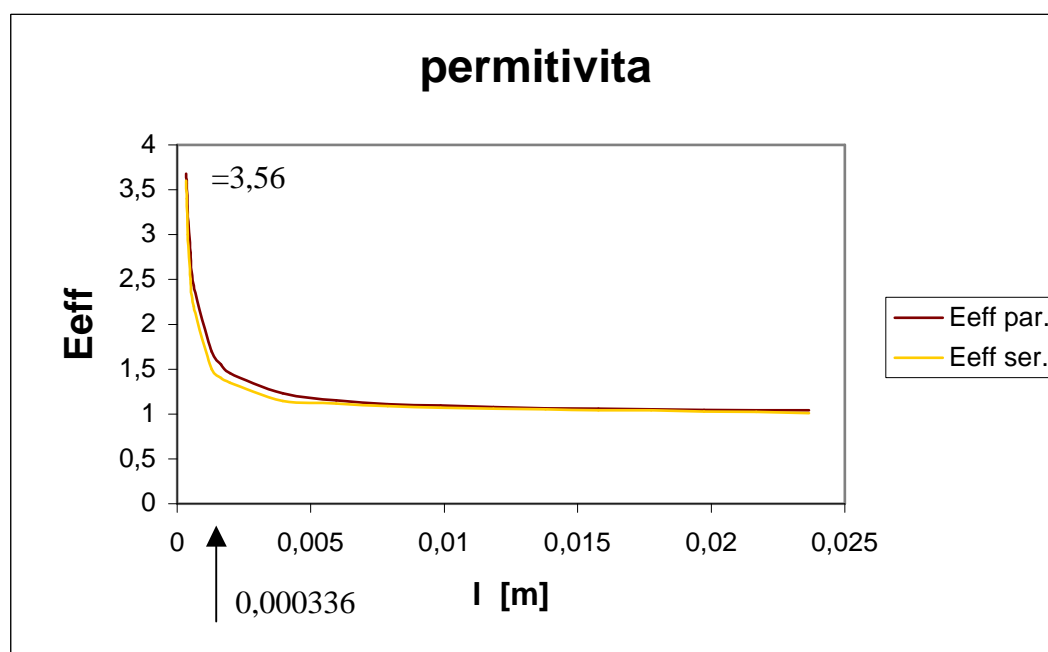
Na *obr.22* je graf pro *efektivní permitivity* vypočítaných teoretických hodnot paralelního a sériového zapojení.

Pojem *efektivní permitivita* je upřesněn v následující podkapitole.

Na začátku jsou jejich hodnoty stejné, pro sériové zapojení jsou hodnoty během stlačení o něco málo nižší a po teoretickém vytlačení vzduchu jsou obě hodnoty shodné.



Obr. 21 Vypočítaná kapacita teoretického modelu



Obr. 22 Spočítané hodnoty efektivních permitivit

2.5.5 Efektivní permitivita

Podobně jako u homogenních materiálů se snažíme zavést sjednocující dielektrickou materiálovou konstantu textlie, která by popisovala chování materiálu nezávisle na jeho rozměrech.

$$\varepsilon_{eff} = C_{vz} \cdot \frac{l}{S \cdot \varepsilon_o} = \frac{l^2}{V \cdot \varepsilon_o} \cdot C \quad (2.78)$$

Z tohoto důvodu je možné zavést poměrnou veličinu (podobně jako ε_r u homogenních materiálů).

V praxi vždy platí, že je $\varepsilon_r > 1$ u homogenního dielektrika.

V našem případě, kdy dielektrikum je nehomogenní materiál, s konstantním V_T jedné části, může námi definovaná efektivní permitivita být menší než 1.

Je to dáno tím, že vyjadřuje vnitřní uspořádání daného dielektrika ve vztahu k dílčím relativním permitivitám jednotlivých složek.

2.6 Polarizace dielektrika

Některé izolanty, vložené do elektrického pole se chovají velice specificky. Tyto látky sice neobsahují volné elektrony, tedy nejsou vodivé, ale i dokonalý nevodič se skládá z elektronů a protonů. Vnitřní struktura (náboje) těchto materiálů dokáže reagovat na okolní elektrické nebo magnetické pole.

V izolantu bez volných elektronů se působením vnějšího pole mohou pouze vzájemně posunout kladné a záporné náboje uvnitř atomu. Atom zůstal jako celek neutrální, avšak těžiště nábojů se vzájemně posunulo. Vznikl *dipól* – útvar se dvěma elektrickými póly plus a minus.

Tato *elektronová polarizace* atomu trvá jen za přítomnosti elektrického pole a s jeho zánikem se atom vrátí do nepolarizovaného stavu.

Dielekrika jsou látky, ve kterých přítomnost elektrického pole vyvolává polarizaci. Existují i látky, v nichž je nenulová polarizace i při odstranění vnějšího elektrického pole. Nazýváme je *elektrety*, *piezoelektrika*, *pyroelektrika* a *feroelektrika*.

U *elektretů* je polarizace vyvolána polem a zůstává i po vypnutí pole.

Piezoelektrika jsou látky, ve kterých je polarizace vyvolána elastickou deformací, je vyvolána tlakem a u *pyroelektrik* dochází k polarizaci změnou teploty.

Feroelektrika jsou dielektrika se spontánní polarizací. [4]

2.7 Elektrická pevnost

Schopnost izolantů odolávat namáhání elektrickým polem nazýváme *elektrická pevnost*. Dielektrikum charakterizuje dielektrická konstanta.

Jinou veličinou, která také charakterizuje dielektrikum, je *průrazné napětí*. Je to nejnižší napětí, při kterém nastane elektrický průraz dielektrika.

Zvyšujeme-li napětí na kondenzátoru, vyplněném dielektrikem o dané tloušťce, na hodnotu napětí rovnu napětí průrazu dielektrika, dojde k porušení pevnosti dielektrika.

Při průrazu dochází v dielektriku k vytvoření vodivé cesty mezi elektrodami, jíž izolantem prochází relativně silný proud. Říkáme, že došlo k výboji.

Důsledkem je ztráta izolačních vlastností dielektrika, tedy jeho poškození.

Elektrickou pevností rozumíme maximální intenzitu elektrického pole, kterou ještě dielektrikum snese bez probití.

$$E_p = \frac{U_p}{d} \quad [\text{kV/cm}] \quad (2.79)$$

U_p kritická velikost napětí [kV]

dtloušťka izolantu v místě průrazu [cm] [4]

Při probití dielektrika nastane **výboj** nebo **průraz**. Přeskok jiskry (výboj) nebo průraz závisí na :

- druhu dielektrika a obsahu nečistot v něm
- tvaru elektrod, kterými je možné vytvářet homogenní elektrické pole
- časovém průběhu napětí a tvaru křivky střídavého napětí
- době působení napětí na dielektrikum
- okolním prostředím, které je charakterizováno vlhkostí, teplotou a tlakem.

Elektrická pevnost závisí také hlavně na tloušťce dielektrika, protože s rostoucí tloušťkou klesá. Nepříznivě ji ovlivňují nečistoty v látkách. [2]

2.8 Vlastnosti textilních materiálů

Většina textilních vláken patří mezi elektrické izolátory. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázané k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Jejich elektrická vodivost však není úplně nulová a závisí na obsahu vlhkosti. Například hydrofilním polymerům postačuje 1% obsahu vlhkosti a jejich vodivost vzroste o 8-10 řádů.

Některé polymery se speciální strukturou se řadí mezi polovodiče. Možnými nositeli náboje jsou zde ionty, elektrony a díry. Vodivost polymerů souvisí s přeskoky elektronů z valenčního pásu do vodivostního přes zakázaný pás. U polovodičů je tento pás úzký, takže jejich vodivost je mezi vodivostí kovů a izolátory.

Dielektrické vlastnosti jsou charakterizované permitivitou. Mírou schopnosti polarizovat se mezi deskami kondenzátoru je *elektrická polarizace*.

Pro hydrofilní polymery je dielektrická konstanta silně citlivá na přítomnost vlhkosti. Voda má vysokou dielektrickou konstantu.[6]

Netkaná textilie je objemové těleso, jejíž nedílnou součástí je vzduch. *Pórovitost* P textilie se uvádí v procentech a její výpočet vychází z objemové měrné hmotnosti ρ_{vi}

$$P = \frac{\rho - \rho_{vi}}{\rho} \cdot 100 \quad (2.80)$$

$$\rho_{vi} = \frac{mi}{l \cdot b \cdot h_i} \quad (2.81)$$

U netkaných textilií je toto procento pórovitosti velké, řádově v desítkách procenta.

Lze předpokládat, že vodivost textilie, i když bude z nenavlhavých vláken se změní se změnou vlhkosti prostředí. Bude větší s rostoucí vlhkostí okolního prostředí, protože textiliu uvažujeme jako směs textilních vláken a nemalého množství vzduchu.

3 Experimentální část

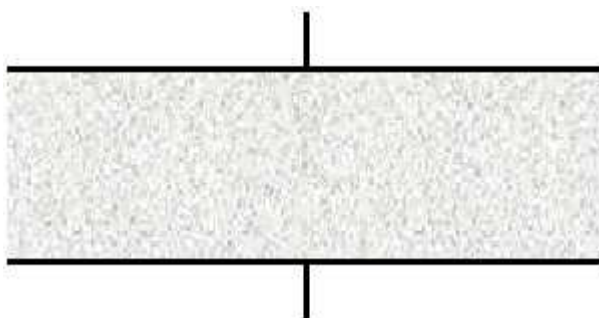
3.1 Popis experimentu

Měření kapacity netkaných textilií s horizontálně a vertikálně kladenými vlákny ve slabém elektrickém poli bylo prováděno na přístroji LCR METER 4263 B, který je na *obr.3.2*. Na přístroji se dají nastavit různá napětí a frekvence. V tomto případě byl přístroj po celou dobu měření nastaven na

- napětí **1V**
- frekvenci **10 kHz**

K přístroji byly připojeny desky kondenzátoru. Elektrody samotné jsou připevněny na desky plexiskla tak, že je možné nastavit různá vzdálenost mezi elektrodami. Jak je vidět na *obr.3.3*, v provrtaných okrajích plexisklových desek jsou šrouby, kterými lze libovolně regulovat míru stlačení textilie podle měřítka umístěného na hranách desek.

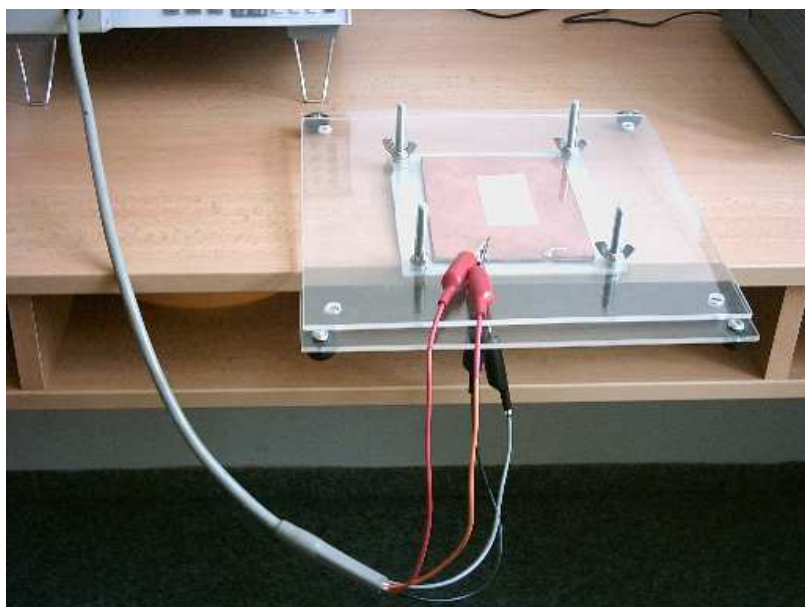
Měřený vzorek textilie byl vložen mezi elektrody a postupně stlačován utahováním šroubů, na nejmenší možnou výšku, kam bylo možné netkanou textilií stlačit, viz. *obr.3.1*. Přitom byly odečítány hodnoty kapacity a svodového odporu.



Obr. 3.1 Netkaná textilie mezi deskami kondenzátoru



Obr. 3.2 Celková sestava měřicího přístroje



Obr. 3.3 Detail desek s elektrodami

Podmínky při měření

Měření všech vzorků probíhalo za stejných podmínek. Během měření kapacit netkané textilie s kolmo i podélně kladenými vlákny se uvedené hodnoty napětí a frekvence neměnily

- napětí $1V$
- frekvence $10kHz$
- hodnoty vlhkosti se pohybovaly v rozmezí $48\% - 50\%$
- teplota vzduchu byla $21^{\circ}C - 22^{\circ}C$

3.2 Charakteristika měřených textilií

Netkaná textilie s kolmo kladenými vlákny je vyrobena technologií *STRUTO*. Tato technologie spočívá v ukládání pavučiny z mykacího stroje do vyšší vlákenné vrstvy, která má lepší odolnost vůči stlačení.

Textilie je tvořena z 60% *bikomponentou* a 40% jsou *polyesterová vlákna*. Jako bikomponenta je použit *kopolyester*.

Netkaná textilie s podélně kladenými vlákny byla vyrobena na Katedře netkaných textilií tak, aby složení přesně odpovídalo vzorkům kolmo kladené textilie a procentuelní podíl *PES vláken* a *kopolyesteru* zůstal zachován.

Polyesterová vlákna

Jsou to vlákna vyráběná z kyseliny tereftálové a etylénglykolu. Vyrábějí se jako vlákna nekonečná (hedvábí) a ve formě stříže. Základní barva je bílá, mohou být i matovaná nebo barvená. Mají kruhový průřez s hladkým okrajem. [8]

PES vlákna mají dobrou schopnost zotavení, vysokou pružnost a objemnost, dobrou odolnost vůči chemikáliím včetně dlouhodobého účinku, s výjimkou silných kyselin a zásad. Vlákna jsou náročnější na barvení, upravuje se jejich žmolovitost. [9]

Zaujímají první místo mezi syntetickými vlákny (47,5% produkce). [4]

Bikomponentní vlákno (kopolyester)

Většina pojiv používaných ke zpevňování vlákenných vrstev je na bázi kopolymerů. Kopolymerizace umožňuje v širokém rozmezí měnit vlastnosti výrobku, výrazně ovlivnit teplotu tání, využívá se tedy i k přípravě pojiv s volitelnou teplotou tání.

Bikomponentní vlákna se vyrábějí zvláknováním nejčastěji dvou různých polymerů pomocí zvláknovací trubice. Aplikují se do směsi se základními vlákny nebo samostatně. Sestávají se obvykle z výše a níže tající polymerní složky. Nejčastěji je ve funkci výše tající složky právě *polyester* a níže tající složky *kopolyester*.

V průběhu pojení se vlákno díky výše tající složce nezbortí a výrobky mají vyšší objemnost. [9]

3.3 Parametry textilií

Textilie s kolmo i podélně kladenými vlákny jsou tvořeny z 60% bikomponentou a 40% *polyesterovými vlákny*. Jako bikomponenta je použit *kopolyester*.

Parametry netkané textilie s kolmo kladenými vlákny:

Průměrná tloušťka vláken v textili	22 μm
Jemnost použitých PES vláken	6,7dtex
Relativní permitivita PES vláken při frekvenci 1MHz	3,54
Měrný el. odpor PES vláken	$10^{11} - 10^{14} \Omega \cdot cm$
Elektrická pevnost PES vláken	80 kV/mm
Průměrná objemová měr. hmotn. vzorku	19,8672 kg / m^3
Měrná hmotnost vláken v textili	1190,41 kg / m^3
Průměrná hmotnost vzorků	7,969 g
Průměrná pórovitost vzorků	98,529 %
Vlákněný podíl ve vzorcích	1,471 %

Parametry netkané textilie s podélně kladenými vlákny:

Netkaná textilie s podélně kladenými vlákny byla vyrobena tak, aby svým složením odpovídala výše uvedené kolmo kladené. Procentuelní podíl vláken zůstal zachován. Z 60 % ji tvoří kopolyester a 40% jsou polyesterová vlákna.

Průměrná tloušťka vláken v textili	21,8 μm
Jemnost použitých PES vláken	2,2dtex
Relativní permitivita PES vláken při frekvenci 1MHz	3,54
Měrný el. odpor PES vláken	$10^{11} - 10^{14} \Omega \cdot cm$
Elektrická pevnost PES vláken	80 kV/mm
Průměrná objemová měr. hmotn. vzorku	25,99 kg / m^3
Měrná hmotnost vláken v textili	1256 kg / m^3
Průměrná hmotnost vzorků	9,123 g

Průměrná pórovitost vzorků	97,91 %
Vlákněný podíl ve vzorcích	2,08%

Přičemž plocha desek kondenzátoru je $0,01725 \text{ m}^2$, vzdálenost desek se měnila s výškou měřené textilie, tedy se stlačením.

3.4 Metody určení parametrů textilií

Měrná hmotnost vlákněného materiálu byla zjištěna *pyknometrickou metodou*. Metoda spočívá ve vážení pyknometru s plnicí kapalinou (destilovanou vodou), která musí být chemicky neutrální. A potom ve vážení pyknometru s plnicí kapalinou spolu s vlákněným materiálem.

Na základě naměřených hodnot se měrná hmotnost ρ stanoví výpočtem podle následujícího vztahu

$$\rho = \frac{m_v \cdot \rho_k}{m_v + P_k - P_{kv}} \quad (3.1)$$

m_v hmotnost vlákněného materiálu [g]

ρ_k měrná hmotnost plnicí kapaliny [kg / m^3]

P_k hmotnost pyknometru naplněného kapalinou [g]

P_{kv} hmotn. pyknometru s kapalinou a vlákněným materiálem [g]

Pro výpočet pórovitosti bylo použito vztahu

$$P = \frac{\rho_{sm} - \rho_{vi}}{\rho_{sm}} \cdot 10^2 \quad (3.2)$$

Objemová měrná hmotnost textilie ρ_{vi} byla stanovena výpočtem ze vztahu

$$\rho_{vi} = \frac{m_i}{l \cdot b \cdot h_i} \quad (3.3)$$

Měrná hmotnost směsi vláken ρ_{sm} byla stanovena pyknometricky.

Obrazová analýza

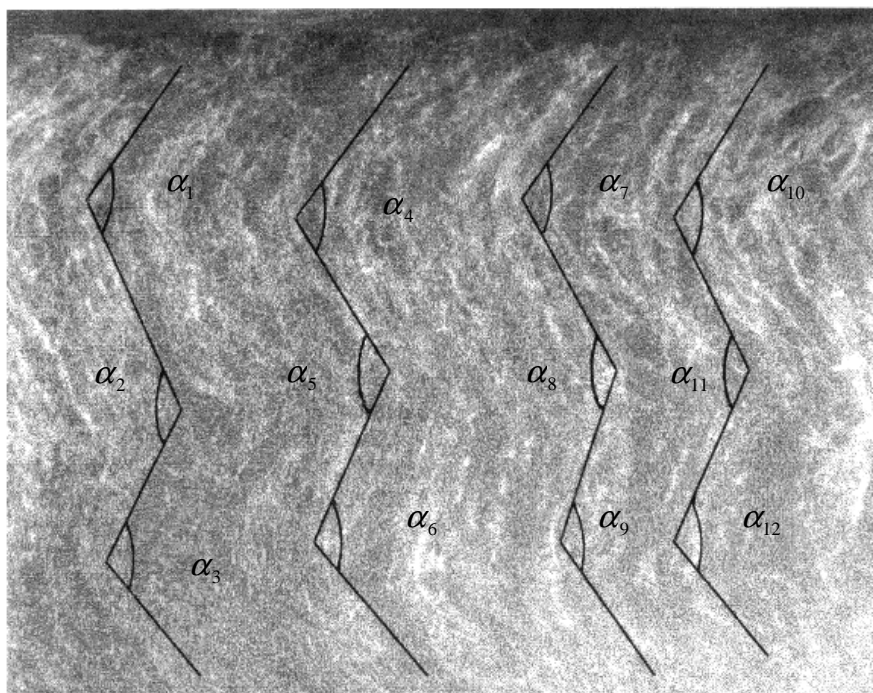
Obrazová analýza (systém *Lucia G*) je určena pro hodnocení charakteristických rysů textilií. Software je vyvinut pro pořizování, ukládání, archivaci obrázků a interaktivní měření rozdílných vlastností textilií. Systém umožňuje automatické archivování pořízených záznamů.

Pomocí *obrazové analýzy* na KTM byla zjišťována tloušťka vláken a také byl nasnímán a zaznamenán celý průběh stlačení u obou druhů vzorků. Obrázky stlačených textilií jsou vloženy do přílohy.

3.4.1 Měření sklonu úhlů kolmo kladené textilie

Díky *obrazové analýze* mohla být změřena změna sklonu úhlu vláken textilie s kolmým kladením při jejím stlačení. Postup byl stejný jako při měření kapacity. Textilie byla vložena mezi desky a utahováním šroubů po stranách desek stlačována. V tomto případě bylo možné stlačit materiál jen na 6 mm z původní výšky 24 mm.

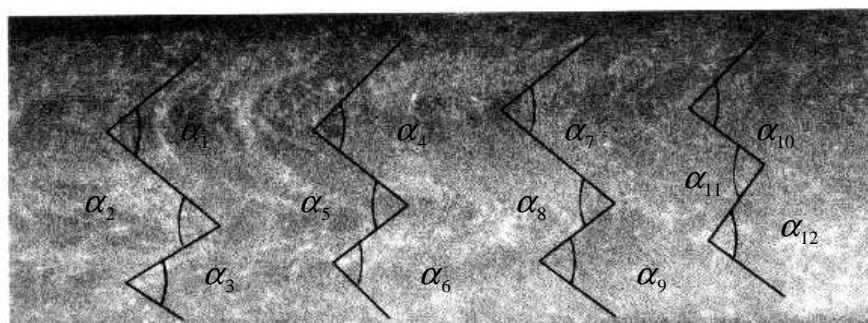
Při každém stlačení byl do paměti uložen mikroskopický obraz textilie. Na *obr.3.4* uvedena textilie s kolmým kladením před stlačením o výšce 24 mm. Další *obr. 3.5* ukazuje stejný vzorek po stlačení na 6 mm.



Obr. 3.4 Úhly sklonu vláken kolmo kladené textilie před stlačením

Velikost sklonu úhlů vláken kolmo kladené textilie před stlačením

$\alpha_1 = 122^\circ$	$\alpha_4 = 136^\circ$	$\alpha_7 = 111^\circ$	$\alpha_{10} = 114^\circ$
$\alpha_2 = 129^\circ$	$\alpha_5 = 131^\circ$	$\alpha_8 = 122^\circ$	$\alpha_{11} = 126^\circ$
$\alpha_3 = 120^\circ$	$\alpha_6 = 123^\circ$	$\alpha_9 = 116^\circ$	$\alpha_{12} = 122^\circ$



Obr. 3.5 Úhly sklonu vláken kolmo kladené textilie po stlačení na 6 mm

Velikost sklonu úhlů vláken kolmo kladené textilie po stlačení

$\alpha_1 = 79^\circ$	$\alpha_4 = 83^\circ$	$\alpha_7 = 79^\circ$	$\alpha_{10} = 83^\circ$
$\alpha_2 = 70^\circ$	$\alpha_5 = 76^\circ$	$\alpha_8 = 77^\circ$	$\alpha_{11} = 90^\circ$
$\alpha_3 = 63^\circ$	$\alpha_6 = 82^\circ$	$\alpha_9 = 74^\circ$	$\alpha_{12} = 90^\circ$

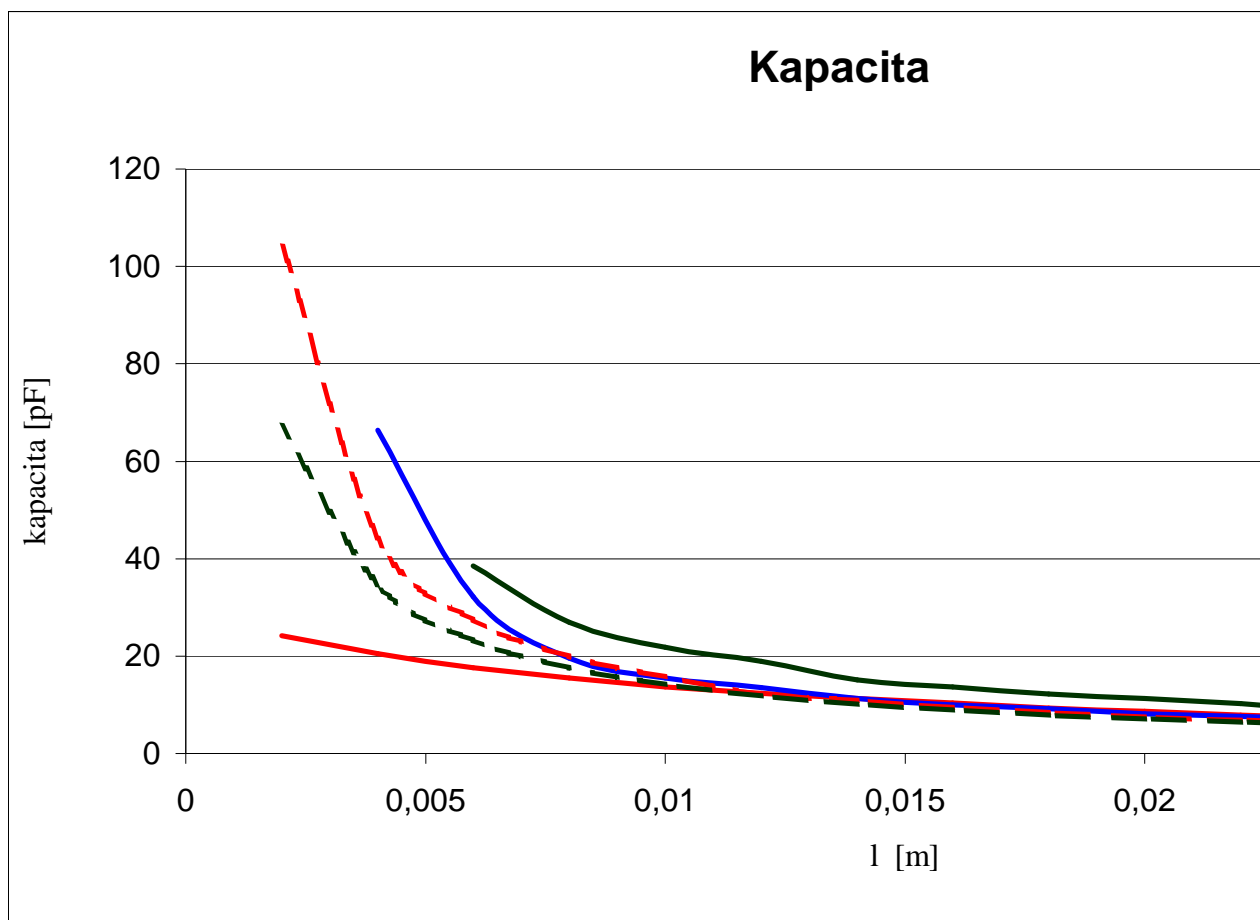
3.5 Měření dielektrických vlastností netkaných textilií

Měření probíhalo při přibližně stejných teplotách vzduchu a přibližně stejných vlhkostech pro všechny vzorky kolmo i podélně kladené netkané textilie. Postup se pokaždé opakoval, netkaná textilie byla vložena mezi desky kondenzátoru a stlačována.

Všechny naměřené hodnoty kapacit a svodového odporu jsou uvedeny v tabulkách v *příloze I*. U každého vzorku jsou pro přehlednost uvedeny jeho základní parametry. Pro přesnost výsledků měření bylo nutné vyrobít ke kolmo kladené textilii složením přesně odpovídající textilii podélně kladenou. Takto vzniklou časovou prodlevou je dán menší počet měření vzorků s podélně kladenými vlákny.

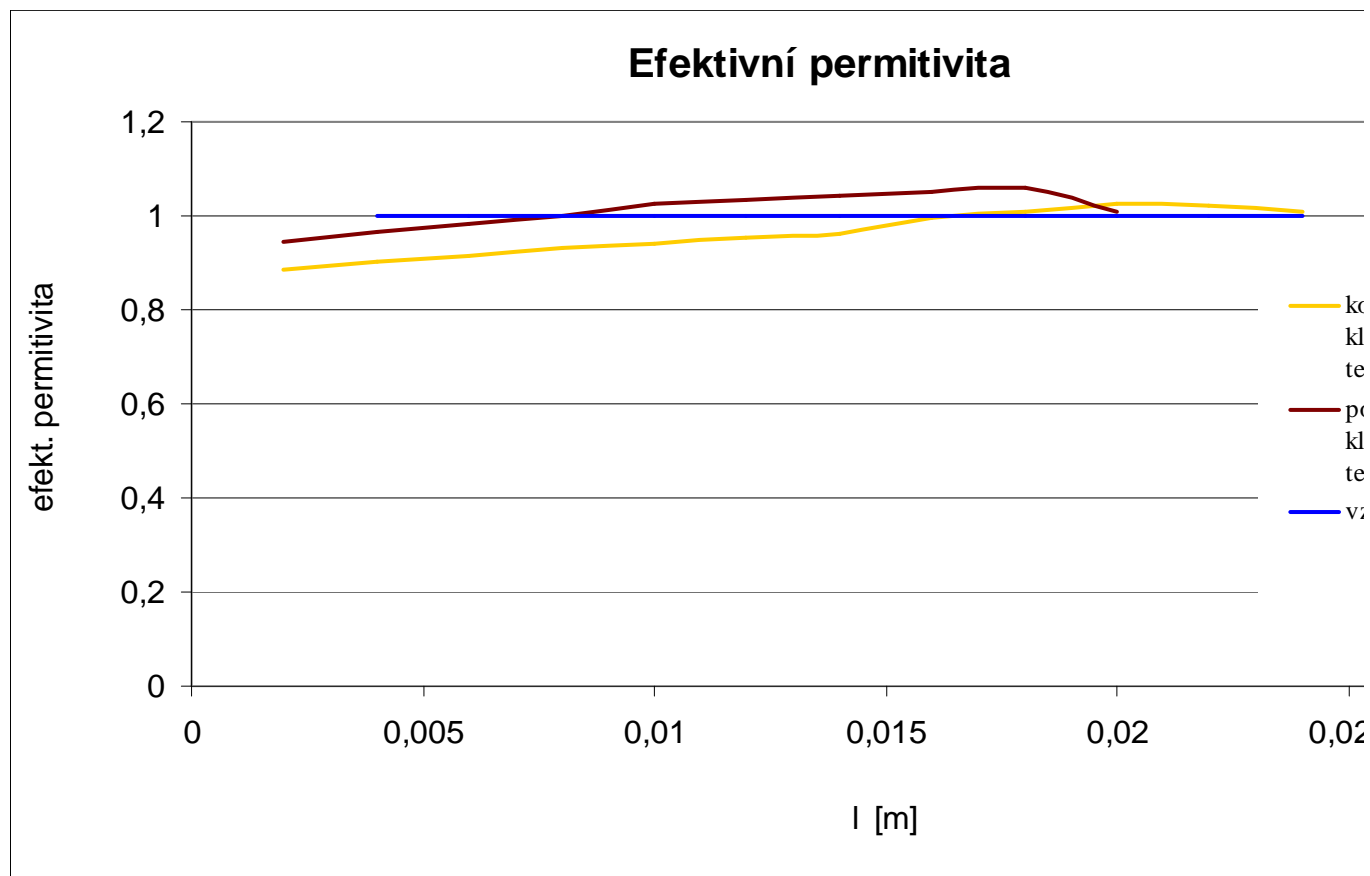
Výsledky měření byly vyneseny do grafů. Na *obr.3.6* jsou hodnoty *kapacity* v závislosti na měnící se výšce vzorků. Výška vzorků textilie s kolmo kladenými vlákny byla 24 mm, u podélného kladení 20 mm a stlačena byla v obou případech maximálně na 2 mm. Pro porovnání jsou v grafu uvedeny teoretické, vypočítané hodnoty kapacit a stejnou barvou pak k příslušnému zapojení hodnota naměřená. U naměřených hodnot byla provedena korekce přívodů.

Na *obr. 3.7* jsou hodnoty *efektivní permitivity* obou typů textilií vztažené k permitivitě vzduchu $\epsilon_r = 1$. Z naměřených hodnot byl korigován vliv přívodů a rozptylového pole. Pojem efektivní permitivita viz. *kap. 2.5.5*.



Obr. 3.6 Závislost kapacity na

stlačení textilie



Obr. 3.7 Průběh efektivní permitivity

v závislosti na stlačení

4 Diskuse výsledků

Při určování dielektrických vlastností netkaných textilií bylo použito dvou druhů vzorků, jejichž vlastnosti byly navzájem porovnány. Měření bylo prováděno na netkaných textiliích vyrobených kolmým kladením pavučiny a druhý typ vzorků byl s kladením podélným.

Při stejném napětí ($U = 1V$) a stejné frekvenci ($f = 10\text{ kHz}$) se měnila vzdálenost elektrod stlačováním vzorků textilií. Při měření bylo dbáno na neměnné hodnoty vlhkosti a teploty vzduchu.

Oba druhy textilií byly stlačovány na výšku 2 mm , což bylo v našem případě maximální možné stlačení. Původní výška kolmo kladené textilie byla 24 mm , podélně kladené 20 mm . Hodnoty kapacity byly odečítány při každém stlačení vzorku o 2 mm .

Hodnoty kapacit byly v počáteční fázi stlačování pro *paralelní kombinaci* (kolmo kladená vlákna) i pro *sériovou kombinaci* (podélně kladená vlákna) téměř shodné. Od stlačení vzorků na zhruba 10 mm vzrůstaly hodnoty kapacity u *sériové kombinace* při každém dalším stlačení poněkud rychleji než u vzorku s *paralelním* řazením vláken. Při maximálním možném stlačení obou textilií dosahovala kapacita *paralelní kombinace* jen polovičních hodnot kapacit *sériového řazení*.

Pro stanovení *efektivní permitivity* (pojem efektivní permitivita viz. kap. 2.5.5) obou materiálů bylo nutné provést korekci vlivu přívodů a rozptylového pole. Vyšších hodnot permitivity dosahovala sériová kombinace, tedy textilie s podélně kladenými vlákny. Textilie s podélně kladenými vlákny se tedy oproti textilií s kolmo kladenými vlákny lépe polarizovala.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat změnu dielektrických vlastností netkané textilie při jejím stlačení a zjistit, zda má na změnu vlastností vliv způsob kladení vláken při výrobě textilie.

Myšlenkou tohoto zkoumání bylo popsat chování dielektrika, které v našem případě představuje vlákenná vrstva a vzduch. Netkaná textilie, jejíž vlákna jsou kladena kolmo byla zařazena mezi dielektrika paralelně dělená a netkaná textilie s podélně kladenými vlákny byla popsána jako dielektrikum se sériovým řazením.

Naše měření dokázala, že způsob kladení vláken dielektrické vlastnosti ovlivňuje. Ukázalo se, že textilie s podélně kladenými vlákny má v průběhu stlačování za působení konstantního elektrického pole o něco lepší polarizovatelnost, než je tomu u textilie s kolmo kladenými vlákny.

Při zpracování výsledků bylo nutné korigovat vliv přívodů a rozptylového pole. Bylo by proto vhodné navrhnout takový způsob měření, kde by se vliv těchto faktorů eliminoval již na počátku a stejným způsobem oba druhy textilií přeměřit. Celé měření by se tímto zefektivnilo a takto získané hodnoty by byly poněkud přesnější.

6 Seznam použitých veličin

Teoretická část

\mathbf{v}	$[m \cdot s^{-1}]$	okamžitá rychlost tělesa
\mathbf{F}	[N]	síla
\mathbf{F}_e	[N]	elektrická síla
Q	[C]	elektrický náboj
r	[m]	vzdálenost dvou nábojů
k	$[N \cdot m^2 \cdot C^{-2}]$	konstanta úměrnosti
ϵ, ϵ_o	$[F \cdot m^{-1}]$	permitivita prostředí, vakua
ϵ_r	[-]	relativní permitivita prostředí
\mathbf{E}	$[V \cdot m^{-1}]$	intenzita elektrického pole
φ	[V]	elektrický potenciál
U	[V]	napětí
C	[F]	kapacita
S	$[m^2]$	plocha desek kondenzátoru
d	[m]	vzdálenost desek kondenzátoru
R	$[\Omega]$	elektrický odpor
\mathbf{B}	[T]	magnetická indukce
G	[S]	elektrická vodivost materiálu
γ	$[S \cdot m^{-1}]$	konduktivita
ρ	$[\Omega \cdot m]$	rezistivita
E_p	$[kV \cdot cm^{-1}]$	elektrická pevnost
U_p	[kV]	průrazné napětí
d	[cm]	tloušťka izolantu v místě průrazu
P	[%]	pórovitost textilie
w	$[J / m^2]$	hustota energie elektrického pole
m_i	[kg]	hmotnost vzorku textilie
ρ_i	$[kg \cdot m^{-3}]$	měrná hmotnost vzorku

ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	měrná hmotnost textilie podle tabulek
l, b, h	$[\text{m}]$	délka, šířka, výška vzorku

Teoretická část – Dielektrické vlastnosti modelu netkané textilie

l	$[\text{m}]$	celková výška textilního materiálu
l_v	$[\text{m}]$	výška vzduchové vrstvy
l_T	$[\text{m}]$	výška vlákenné vrstvy
V	$[\text{m}^3]$	celkový objem textilie
V_0	$[\text{m}^3]$	objem vzduchové vrstvy
V_T	$[\text{m}^3]$	objem vlákenné vrstvy
S	$[\text{m}^2]$	plocha textilie
b	$[\text{m}]$	délka textilie
a	$[\text{m}]$	celková šířka textilie
a_{PV}	$[\text{m}]$	šířka vzduchové vrstvy paralelního uspořádání
a_{PT}	$[\text{m}]$	šířka vlastní textilie paralelního uspořádání
a_P	$[\text{m}]$	celková šířka textilie paralelního uspořádání
a_S	$[\text{m}]$	celková šířka textilie sériového uspořádání
ϵ_T	$[\text{F} \cdot \text{m}^{-1}]$	permitivita textilie
ϵ_{rT}	$[-]$	relativní permitivita textilie
C_{PT}	$[\text{F}]$	kapacita vlákenné vrstvy paralel. uspořádání
C_{PV}	$[\text{F}]$	kapacita vzduchu paralelního uspořádání
C_{ST}	$[\text{F}]$	kapacita vlákenné vrstvy v sériovém řazení
C_{SV}	$[\text{F}]$	kapacita vzduchu v sériovém řazení
C_o	$[\text{F}]$	kapacita nestlačené textilie sériového modelu

Experimentální část – Metody určení parametrů textilií

ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	měrná hmotnost
m_v	[g]	hmotnost vlákenného materiálu
ρ_k	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	měrná hmotnost plnicí kapaliny
P_k	[g]	hmotnost pyknometru s kapalinou
P_{kv}	[g]	hmotnost pyknometru s kapalinou a textilií
P	[%]	pórovitost
ρ_{sm}	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	měrná hmotnost směsi vláken
ρ_{vi}	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	objemová měrná hmotnost textilie
m	[kg]	hmotnost vzorku
l, b, h	[m]	délka, šířka, výška vzorku

7 Seznam použité literatury

- [1] Haňka L.: Teorie elektromagnetického pole, SNTL, Praha 1975
- [2] Košková B.: Struktura a vlastnosti vláken, TU Liberec, FT, 1989
- [3] Svoboda E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky, Prometheus, Praha, 1996
- [4] Kolínová M.: Teze k disertační práci, FT, KNT, TUL, 2002
- [5] Wagner J., Kopal A.: Fyzika II., Skriptum, TU Liberec, 1995
- [6] Militký J.: Textilní vlákna, Skriptum, TU Liberec, 2002
- [7] Bobeth W., Mally A., a kol.: Textile Faserstoffe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993
- [8] Foltýn J.: Příruční tabulky pro chemiky – vláknaře, SNTL, Praha, 1975
- [9] Jirsák O., Macková I. : Netkné textilie, Skriptum, TU Liberec, 1997

8 Seznam příloh

Příloha I.	Naměřené hodnoty kapacit a svodového odporu
Příloha II.	Obrazová dokumentace stlačovaných netkaných textilií
Příloha III.	Změna sklonu úhlů kolmo kladené textilie vztažená ke změně dielektrických vlastností

Příloha I.

Kolmo kladená textilie

Vzorek č. 1		
m = 6,409 g		
vlákenný podíl = 1,4 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.74	141.4
0.022	13.35	135.5
0.020	14.26	129.4
0.018	15.13	116.4
0.016	16.27	111.7
0.014	17.48	104.0
0.012	19.04	95.80
0.010	20.75	89.93
0.008	22.98	82.86
0.006	24.96	76.38
0.004	27.50	69.37
0.002	32.23	60.03

Vzorek č. 2		
m = 8,615 g		
vlákenný podíl = 1,41 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.39	154.6
0.022	12.96	143.3
0.020	13.65	134.4
0.018	14.81	126.9
0.016	15.97	119.8
0.014	16.62	115.9
0.012	17.39	111.7
0.010	18.23	100.1
0.008	19.78	92.20
0.006	21.39	86.78
0.004	24.80	68.62
0.002	28.15	72.07

Vzorek č. 3		
m = 8,731 g		
vlákenný podíl = 1,55 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.22	154.5
0.022	13.06	142.9
0.020	13.70	136.2
0.018	14.47	129.2
0.016	15.31	122.8
0.014	16.39	115.6
0.012	17.52	111.1
0.010	18.54	104.1
0.008	20.49	95.43
0.006	22.44	87.84
0.004	25.83	76.05
0.002	28.61	69.06

Vzorek č. 4		
m = 9,078 g		
vlákenný podíl = 1,62 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.19	155.4
0.022	13.04	143.3
0.020	13.75	136.2
0.018	14.59	129.6
0.016	15.70	120.5
0.014	16.82	112.7
0.012	17.94	108.3
0.010	19.34	100.3
0.008	21.66	90.80
0.006	24.37	79.72
0.004	27.79	69.14
0.002	33.20	59.04

Vzorek č. 5		
m = 8,174 g		
vlákenný podíl = 1,6 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.33	157.6
0.022	12.78	147.5
0.020	13.24	143.2
0.018	14.02	133.1
0.016	14.78	126.8
0.014	15.68	120.5
0.012	16.97	113.3
0.010	18.14	107.0
0.008	19.15	98.09
0.006	21.62	91.18
0.004	23.49	83.65
0.002	25.97	72.32

Vzorek č. 6		
m = 8,157 g		
vlákenný podíl = 1,54 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.37	160.5
0.022	12.86	145.4
0.020	13.49	137.5
0.018	14.23	130.4
0.016	15.07	124.5
0.014	16.20	116.0
0.012	17.25	112.1
0.010	18.57	104.1
0.008	20.78	93.27
0.006	22.52	83.43
0.004	25.04	79.25
0.002	29.18	65.23

Vzorek č. 7		
m = 7,131 g		
vlákenný podíl = 1,26 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.34	152.9
0.022	13.13	143.8
0.020	14.04	133.91
0.018	14.71	129.5
0.016	15.49	123.8
0.014	16.21	117.7
0.012	17.62	110.1
0.010	19.18	101.5
0.008	21.25	92.76
0.006	23.23	85.43
0.004	25.72	71.56
0.002	29.54	66.29

Vzorek č. 8		
m = 6,652 g		
vlákenný podíl = 1,41 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.39	158.7
0.022	14.00	127.7
0.020	14.86	107.8
0.018	15.24	124.4
0.016	16.59	115.0
0.014	18.16	107.3
0.012	19.33	95.30
0.010	20.70	89.88
0.008	23.28	80.31
0.006	26.35	71.10
0.004	31.17	64.05
0.002	36.35	52.41

Vzorek č. 9		
m = 8,454 g		
vlákenný podíl = 1,51 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.62	150.2
0.022	13.10	144.4
0.020	13.85	137.5
0.018	14.42	125.6
0.016	15.36	117.8
0.014	15.61	113.7
0.012	16.17	106.1
0.010	17.66	102.0
0.008	14.36	94.40
0.006	21.30	86.03
0.004	22.44	82.96
0.002	24.95	75.80

Vzorek č. 10		
m = 8,212 g		
vlákenný podíl = 1,41 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.024	12.06	166.8
0.022	12.61	151.0
0.020	13.36	140.8
0.018	13.98	133.6
0.016	14.59	129.1
0.014	15.41	124.4
0.012	16.47	115.6
0.010	17.24	112.6
0.008	18.32	103.4
0.006	19.96	98.88
0.004	22.69	86.52
0.002	25.48	73.94

Podélně kladená textilie

Vzorek č. 1		
m = 9,477 g		
vlákenný podíl = 2,2 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.020	13.813	108.50
0.018	15.461	92.59
0.016	16.523	85.479
0.014	17.446	87.805
0.012	18.872	79.766
0.010	20.320	72.500
0.008	24.144	59.879
0.006	27.063	51.383
0.004	32.126	41.114
0.002	43.680	26.166

Vzorek č. 2		
m = 8,188 g		
vlákenný podíl = 1,85%		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.020	13.110	128.78
0.018	14.138	115.89
0.016	15.006	109.29
0.014	16.314	101.04
0.012	17.996	88.240
0.010	19.596	81.365
0.008	21.991	71.361
0.006	25.477	60.747
0.004	30.520	48.988
0.002	38.579	36.308

Vzorek č. 3		
m = 9,706 g		
vlákenný podíl = 2,21 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.020	13.415	119.290
0.018	14.918	113.283
0.016	15.560	110.360
0.014	17.123	103.66
0.012	18.789	91.440
0.010	21.660	82.463
0.008	25.412	69.45
0.006	27.624	58.789
0.004	31.759	45.634
0.002	40.212	34.349

Vzorek č. 4		
m = 22,270 g		
vlákenný podíl = 2,8 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.036	8.717	169.35
0.032	9.333	157.71
0.028	9.917	146.69
0.024	10.460	137.60
0.020	11.455	125.37
0.016	12.676	111.89
0.012	13.875	101.41
0.008	15.740	87.819
0.004	17.544	76.699

Vzorek č. 5		
m = 26,785 g		
vlákenný podíl = 3,4 %		
l [m]	C [pF]	R _p [MΩ]
0.036	8.831	162.29
0.032	9.403	149.64
0.028	9.960	142.90
0.024	10.679	131.43
0.020	11.601	120.69
0.016	12.944	106.87
0.012	14.126	97.20
0.008	15.967	83.606
0.004	18.214	70.113

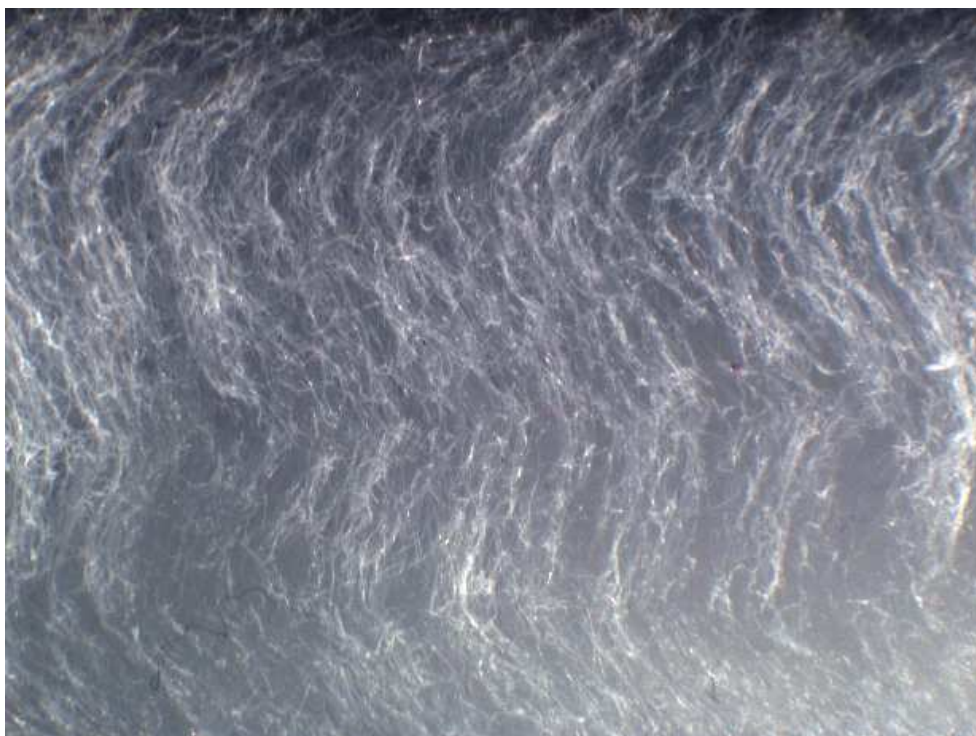
Vzduch

l [m]	C [pF]	R_p [MΩ]
0.022	11.88	166.4
0.020	12.61	151.3
0.018	13.16	147.2
0.016	14.10	140.7
0.014	15.40	136.2
0.012	17.06	121.6
0.010	19.20	112.8
0.008	21.84	102.5
0.006	26.36	87.14
0.004	38.03	64.81
0.002	71.24	31.63

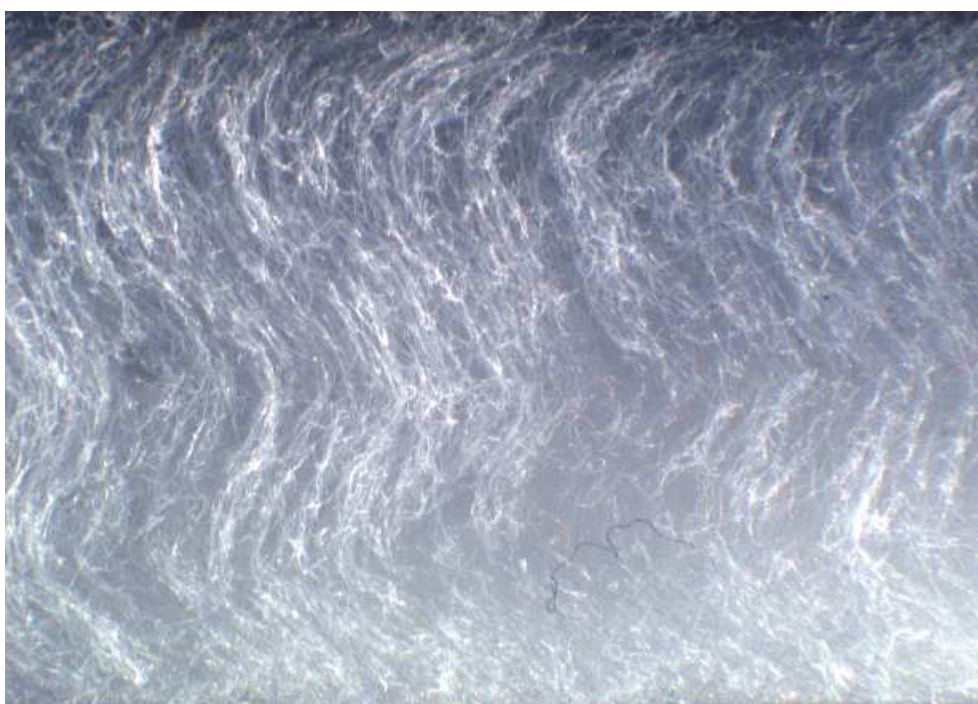
l [m]	C [pF]	R_p [MΩ]
0.022	12.15	163.7
0.020	12.87	162.9
0.018	13.26	147.6
0.016	14.52	139.1
0.014	15.09	134.6
0.012	16.79	124.2
0.010	18.61	113.5
0.008	20.71	107.3
0.006	24.55	91.70
0.004	37.86	64.42
0.002	68.43	36.57

Příloha II.

Průběh stlačení kolmo kladené NT



Obr. 8.1 Kolmo kladená NT, výška 22 mm



Obr. 8.2 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 20 mm



Obr. 8.3 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 18 mm



Obr. 8.4 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 16 mm



Obr. 8.5 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 14 mm



Obr. 8.6 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 12 mm



Obr. 8.7 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 10 mm



Obr. 8.8 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 8 mm



Obr. 8.9 Kolmo kladená NT při stlačení, výška 6 mm

Průběh stlačení podélně kladené NT



Obr. 8.10 Podélně kladená NT, výška 20 mm



Obr. 8.11 Podélně kladená NT při stlačení, výška 18 mm



Obr. 8.12 Podélně kladená NT při stlačení, výška 16 mm



Obr. 8.13 Podélně kladená NT při stlačení, výška 14 mm



Obr. 8.14 Podélně kladená NT při stlačení, výška 12 mm



Obr. 8.15 Podélně kladená NT při stlačení, výška 10 mm



Obr. 8.16 Podélně kladená NT při stlačení, výška 8 mm



Obr. 8.17 Podélně kladená NT při stlačení, výška 6 mm

Příloha III.

